



**UNIVERZITET U TUZLI
TEHNOLOŠKI FAKULTET TUZLA**



Dr. sci. Ivan Petric, red. prof.

EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE I MATEMATIČKO MODELIRANJE PROCESA KOMPOSTIRANJA BIORAZGRADIVOG OTPADA U BIOREAKTORU

**Javna prezentacija naučno-istraživačkog projekta čiju je realizaciju
finansijски podržalo Federalno ministarstvo obrazovanja i nauke**

Tuzla, 30.11.2021. godine

PREDMET ISTRAŽIVANJA

- ✓ **Kompostiranje je biorazgradnja i stabilizacija organskih supstrata, pod uvjetima koji osiguravaju razvoj termofilnih temperatura kao rezultat proizvedene biotopline, proizvode konačan proizvod koji je stabilan, bez patogena i sjemena korova, i koji može biti koristan za odlaganje na tlo.**
- ✓ **Pri kompostiranju biorazgradnja organskih tvari teče u prisutnosti kisika, odnosno zraka. Glavni proizvodi kompostiranja su: ugljikov dioksid, voda, toplina i kompost.**

Aerobno kompostiranje ima čitav niz prednosti:

- ✓ **Kompostiranjem se proizvodi odličan kondicioner za tlo, poboljšava strukturu tla, poboljšava kapacitet zadržavanja vode, smanjuje potrebe za gnojivom i smanjuje potencijal zemlje za eroziju.**
- ✓ **Postoji jako velik potencijal tržišta za kompostirani proizvod, kao npr. vrtovi, farme povrća, uzgajivači jestivih gljiva, tereni za golf, uzgajivači ukrasnog cvijeća, itd. Kompost također može poslužiti kao postelja za perad.**
- ✓ **Kompostiranjem se postiže znatno smanjenje u volumenu i masi otpada, kao i poboljšanje manipulativnih karakteristika.**

- ✓ **Kompost se može uskladištiti i primijeniti u pogodno doba godine, pošto je organski dušik manje osjetljiv na cijedenje i daljnje gubitke amonijaka.**
- ✓ **Postiže se smanjenje omjera ugljik/dušik do razine koja je više pogodna za primjenu na zemljište.**
- ✓ **Kompostiranjem se vrši uništavanje patogena i sjemena korova bez primjene hemijskih sredstava.**
- ✓ **Kontroliranim vođenjem procesa, neugodan miris i muhe potpuno se eliminiraju.**

- ✓ **Kompostiranje je veoma kompleksan proces koji uključuje veliki broj međusobno povezanih fizičko-hemijskih, mikrobnih i termodinamskih fenomena. Stoga ovaj proces predstavlja izazov i sa aspekta eksperimentalnog istraživanja i sa aspekta matematičkog modeliranja.**
- ✓ **U praksi su bioreaktorski sistemi općenito prihvatljiviji od nebioreaktorskih sistema, jer omogućavaju bolju kontrolu koja se odnosi na zaštitu okoliša, kao što je nastajanje mirisa, plinova, prašine i opći izgled okoliša.**

Nedostaci postojećih matematičkih modela:

- ✓ postojeći modeli opisuju ili nikako ili djelimično prijenos mase i topline između faza sistema, a uglavnom ne opisuju dinamiku plinske faze (temperatura i sastav plinske smjese) i otopljenih plinova u vodi u materijalu za kompostiranje,
- ✓ većina ovih modela ne koristi originalne vrijednosti parametara, već ih uzima iz postojeće literature,
- ✓ verifikacija ovih modela ili nije nikako izvršena ili je najčešće izvršena sa jednom ili dvije eksperimentalno mjerene dinamičke varijable stanja,
- ✓ postojeći matematički modeli sa većim ili manjim odstupanjima opisuju dinamiku procesa tako da postoji potreba za razvijanjem novog modela.

CILJEVI PROJEKTA

- ✓ eksperimentalno izmjeriti određene veličine iz procesa (temperatura smjese, koncentracije plinova, sadržaj vlage, sadržaj organskih tvari) primjenom laboratorijskih i pilot bioreaktora različitih volumena,
- ✓ usporediti eksperimentalne rezultate dobivene u laboratorijskim uvjetima sa rezultatima sličnih istraživanja dobivenih u laboratoriji i u realnim uvjetima,
- ✓ odrediti gradijente na različitim visinama unutar pilot bioreaktora (temperatura, koncentracije plinova, sadržaj organskih tvari, sadržaj vlage),
- ✓ razviti kinetičke modele za proces kompostiranja na bazi različitih dinamičkih varijabli stanja (temperatura supstrata, sadržaj vlage, sadržaj organskih tvari, pH, itd.),
- ✓ razviti bioreaktorski model za proces kompostiranja (materijalni bilans, energetski bilans, stehiometrija),

- ✓ procijeniti vrijednosti parametara u kinetičkim modelima na osnovu simuliranih i eksperimentalnih rezultata iz laboratorijskih i pilot bioreaktora,
- ✓ izvršiti simulaciju procesa sa razvijenim matematičkim modelom,
- ✓ verificirati razvijeni matematički model sa neovisnim eksperimentalnim rezultatima nekoliko mjerenih dinamičkih varijabli izmjerenih u laboratorijskim i pilot bioreaktorima,
- ✓ izvršiti analizu osjetljivosti kinetičkih parametara,
- ✓ odrediti optimalne vrijednosti procesnih parametara koji su ključni za proces kompostiranja (sadržaj vlage, temperatura ulaznog zraka, protok zraka),

METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Materijali

- ✓ Za istraživanje će se koristiti različiti tipovi biorazgradivog otpada: organska frakcija komunalnog krutog otpada, vrtni otpad, peradarski gnoj, pšenična slama, piljevina, otpadni kvasac iz pivarske industrije, itd.
- ✓ Nakon miješanja i homogeniziranja smjese, izvest će se preliminarna analiza supstrata s ciljem da se utvrde njihove osnovne fizičko-hemijske karakteristike (vlaga, suhe tvari, organske tvari, pH, električna vodljivost, omjer ugljik/dušik, itd.).

Metode rada

- ✓ Za eksperimente će se koristiti laboratorijski bioreaktori od nerđajućeg čelika-inoxa volumena 1 litar i 32 litara, kao i pilot-bioreaktori od specijalne plastike volumena 57 litara.
- ✓ Zrak će se u bioreaktore ubacivati uz pomoć kompresora preko mjerača protoka.
- ✓ Temperatura supstrata će se kontinuirano mjeriti uz pomoć termoparova, preko akvizicijskog modula na računar.

Metode rada

- ✓ Na početku, u toku (svaki dan) i na kraju procesa kompostiranja izvršit će se fizičko-hemijska analiza otpada/komposta (sadržaj vlage, suhe tvari, organske tvari, pH-vrijednost, električna provodljivost, omjer ugljik/dušik, itd.).
- ✓ U plinskoj smjesi na izlazu iz bioreaktora određivat će se koncentracije plinova (ugljičkov dioksid, kisik, metan) primjenom plinskog hromatografa.
- ✓ S ciljem utvrđivanja da li postoje značajnije statističke razlike između tretmana, koristit će se ANOVA analiza (analiza varijanci, tzv. „Multiple Range Test“) a po potrebi i ostali statistički testovi.

Metode rada

- ✓ Eksperimentalni podaci iz bioreaktora iskoristit će se za određivanje kinetičkih parametara u modelu kao i za verifikaciju modela.
- ✓ Za određivanje kinetičkih parametara modela koristit će se direktna nelinearna regresijska analiza zasnovana na optimizacijskim metodama (npr. Marquardt, Gauss-Newton, itd.).
- ✓ Rješavanje sistema nelinearnih diferencijalnih jednažbi izvest će se numerički (npr. metoda Runge-Kutta-Fehlberg, itd.).
- ✓ Oba algoritma implementirat će se u numeričkim softverskim paketima MATLAB i POLYMATH.

Metode rada

- ✓ Analiza osjetljivosti modela prema kinetičkim parametrima pokazat će koji parametri imaju veći ili manji utjecaj na osnovne dinamičke varijable (npr. temperatura supstrata, konverzija organskih tvari, koncentracija ugljikovog dioksida).
- ✓ Aksijalni gradijenti koji se javljaju istražit će se eksperimentalno i numerički s ciljem da se utvrdi veza između fizičko-hemijskih i mikrobnih pokazatelja.
- ✓ Kod numeričkog pristupa primijenit će se numeričke metode za rješavanje sistema diferencijalnih jednažbi implementirane u numeričkim softverskim paketima MATLAB i POLYMATH.

Metode rada

- ✓ Razvijeni matematički model će se verificirati usporedbom sa mjenim dinamičkim varijablama (temperatura supstrata, konverzija organskih tvari, koncentracija ugljikovog dioksida, koncentracija kisika) sa pilot bioreaktora.
- ✓ Preko verificiranog matematičkog modela procesa odredit će se optimalne vrijednosti početnog sadržaja vlage i protoka zraka.
- ✓ Dobiveni kompost iz će se aplicirati na zemljište s ciljem uzgoja određenih sorti voćaka i povrća. Sa aplikacijom dobivenog komposta, komercijalna organska gnojiva će se također aplicirati na zemljište s ciljem uzgoja voćaka i povrća.

HIPOTEZA

- ✓ **Primjenom razvijenog i verificiranog matematičkog modela i eksperimentalnih podataka iz bioreaktora, moguće je izvršiti optimizaciju procesa kompostiranja biorazgradivog otpada.**

**PREGLED
OČEKIVANIH
REZULTATA**

- ✓ razvijeni matematički model (kinetički modeli, materijalni bilans, energetski bilans, stehiometrija) kao moćan alat za analizu utjecaja osnovnih faktora procesa (početni sadržaj vlage u supstratu, protok zraka, temperatura zraka na ulazu u bioreaktor) na izvedbu procesa,
- ✓ optimalne vrijednosti početnog sadržaja vlage, protoka zraka i temperature zraka na ulazu u bioreaktor, koji su najbitniji faktori za uspješno vođenje procesa,
- ✓ smanjenje različitih gradijenata (temperatura supstrata, sadržaj vlage, sadržaj organskih tvari) koji nastaju tokom procesa kompostiranja na različitim visinama otpada.

PROJEKTNI TIM

- 1. Dr. sci. Ivan Petric, red. prof. (Voditelj projekta, Tehnološki fakultet Univerziteta u Tuzli)**
- 2. Dr. sci. Ervin Karić, viši asistent (Tehnološki fakultet Univerziteta u Tuzli)**
- 3. Edina Ibrić, student 4. godine (Tehnološki fakultet Univerziteta u Tuzli)**
- 4. Haris Glušac, student 4. godine (Tehnološki fakultet Univerziteta u Tuzli)**
- 5. Dr. sci. Vladan Mičić, red. prof. (Tehnološki fakultet Zvornik Univerziteta u Istočnom Sarajevu)**

HVALA NA PAŽNJI